

Висновки

Отримані розрахункові формули та представлені графічні залежності показують:

1. Належну комфортабельність пересування ГТЗ може забезпечити підвіска з нелінійним законом зв'язку між деформацією та переміщенням, причому коефіцієнт пропорційності у вказаному співвідношенні для крайніх амортизаторів повинен бути більшим ніж для решти.
2. Нелінійні сили опору приводять до швидкого затухання поздовжньо-кутових коливань, при чому швидкість затухання не залежить суттєво від нелінійно-пружних характеристик підвіски.
3. Нелінійно-пружні характеристики підвіски суттєво впливають на частоту власних коливань і для більших значень степеня нелінійності (параметра ν) вони є менші.
4. Вплив демпферних пристроїв та амортизаторів на середніх підвісках проявляється меншою мірою як на закони зміни амплітуди поздовжньо-кутових коливань, так і на частоти.
5. Отримані результати слугуватимуть базою для більш складних досліджень динаміки ГТЗ, а саме дослідженню руху останніх по пересіченій місцевості.

Література

1. Дущенко В.В. Исследование возможностей повышения плавности хода модернизированной транспортной гусеничной машины на основе использования серийных узлов подвески / В.В. Дущенко, С.Н. Воронцов, И.В. Мусницкая // *Механіка та машинобудування*. – 1998. – № 1. – С. 83–88.
2. Величко Л.Д. Динаміка гусеничних транспортних засобів по пересіченій місцевості / Л.Д. Величко, Ю.А. Чаган // *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*. – Львів : УДЛТУ. – 2011. – Вип. 21.4. – С. 346–352.
3. Величко Л.Д. Математичне моделювання підвіски гусеничних транспортних засобів / Л.Д. Величко, Б.І. Сокіл, Ю.А. Чаган // *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*. – Львів : УДЛТУ. – 2011. – Вип. 21.5. – С. 316–323.
4. Найфе А.Х. Методы возмущений / Найфе А.Х. – М. : Мир, 1976. – 456 с.
5. Коул Дж. Методы возмущений в прикладной математике / Коул Дж. – М. : Мир, 1972. – 272 с.
6. Rosenberg R.M. Normal models of nonlinear dual – Mode Systems / R.M. Rosenberg // *J. of Appl. Mech.* – June 1960. – P. 263–268.
7. Сенік П. М. Про Ateb-функції / П. М. Сенік // *Доп. АН УРСР*. – 1968. – № 1. – С. 23–26.
8. Сенік П.М. Про табулювання періодичних Ateb-функцій / П.М. Сенік, А.М. Возний // *Доп. АН УРСР*. – 1969. – № 12. – С. 1089–1092.
9. Волосников С.А. Анализ конструкций торсионных подвесок отечественных и зарубежных танков / С.А. Волосников // *Вестник НТИ «ХПИ»*. – 2003. – № 28. – С. 19–23.
10. Боголюбов Н.И. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний / Н.И. Боголюбов, Ю.А. Митропольский. – М., 1974. – 408 с.

Надійшла 28.9.2012 р.

УДК 612.76

Н.Г. СУРЬЯНИНОВ

Одесский национальный политехнический университет

Е.И. СЕМЕНОВ, О.Н. СЕННИКОВ

Институт стоматологии АМН Украины

БИОМЕХАНИКА САМОРАСКРУЧИВАНИЯ КРЕПЕЖНОГО ВИНТА ПРИ ДЕНТАЛЬНОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

Проанализированы причины самораскручивания крепежного винта, соединяющего внутрикостную часть имплантата с абатманом и фиксируемой на нем ортопедической конструкцией.

There have been analyzed causes of self-out-screwing of the fixing screw, jointing the inner-bone part of the implantant with abatment and the being fixed on it orthopedic construction.

Ключевые слова: стоматология, зубопротезирование, винтовые цилиндрические имплантаты, ортопедическая конструкция.

Применение в современной стоматологии имплантатов позволило вывести ортопедическое лечение больных с адентией на качественно новый уровень. Однако перед имплантологией стоит целый ряд вопросов, связанных с оптимизацией работы такой сложной биомеханической системы, каковой является система "протез – имплантат – кость", в которой протез представляет собой несъемную ортопедическую конструкцию, фиксируемую на абатмане двухэтапного винтового имплантата.

Получение ответов на эти вопросы в значительной степени связано с новым подходом, в основе которого лежит построение адекватной математической модели и ее компьютерный анализ. Такой подход стал возможен только с появлением современной компьютерной техники и инженерных программ,

позволяющих построить модель практически любой сложности и определить все параметры ее напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов (МКЭ) [1].

Одной из серьезных проблем, с которой сталкивается врач-ортопед при протезировании пациентов, у которых в качестве опоры ортопедической конструкции используются двухэтапные винтовые цилиндрические имплантаты, является самораскручивание винта, соединяющего внутрикостную часть имплантата с абатманом и фиксируемой на нем ортопедической конструкцией [2].

Зубочелюстная система не является стабильной, и нагрузки в отдельных ее элементах (в нашем случае это винт, соединяющий внутрикостную часть имплантата с абатманом и фиксируемой на нем ортопедической конструкцией) могут меняться. Одним из факторов, влияющих на прочность этого соединения, является стираемость зубов.

Рекомендуемое фирмами-производителями усилие, с которым должен затягиваться этот винт ($30 \div 35 \text{ Н} \cdot \text{см}$), не всегда обеспечивает надежное соединение в условиях изменения нагрузки на него в результате физиологической и патологической стираемости зубов.

С целью изучения этого явления, на основе построенной нами ранее модели зубочелюстной системы [3] проведена серия компьютерных расчетов по определению напряженно-деформированного состояния системы "протез – имплантат – кость" при отсутствии естественного истирания зубного ряда (рис. 1,а) и при наличии истирания на 0,5 мм (рис. 1,б).

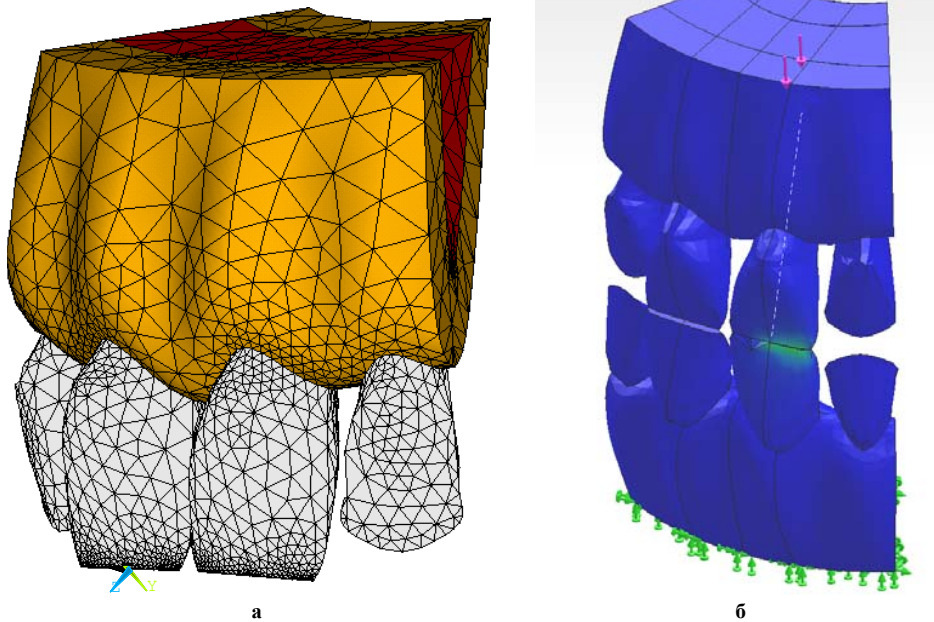


Рис. 1. Фрагмент конечно-элементной модели

Рассматривались три типа смыкания зубов (прямое, нормогнатия и глубокое перекрытие) при углах наклона (углах передачи нагрузки) в 125° , 135° и 145° . Во всех вариантах расчета протезированию подвергался фронтальный резец верхней челюсти, который в исходной модели заменили двухэтапным винтовым имплантатом системы "ЛИКО" (рис. 2) с фиксируемой на нем искусственной металлокерамической коронкой.

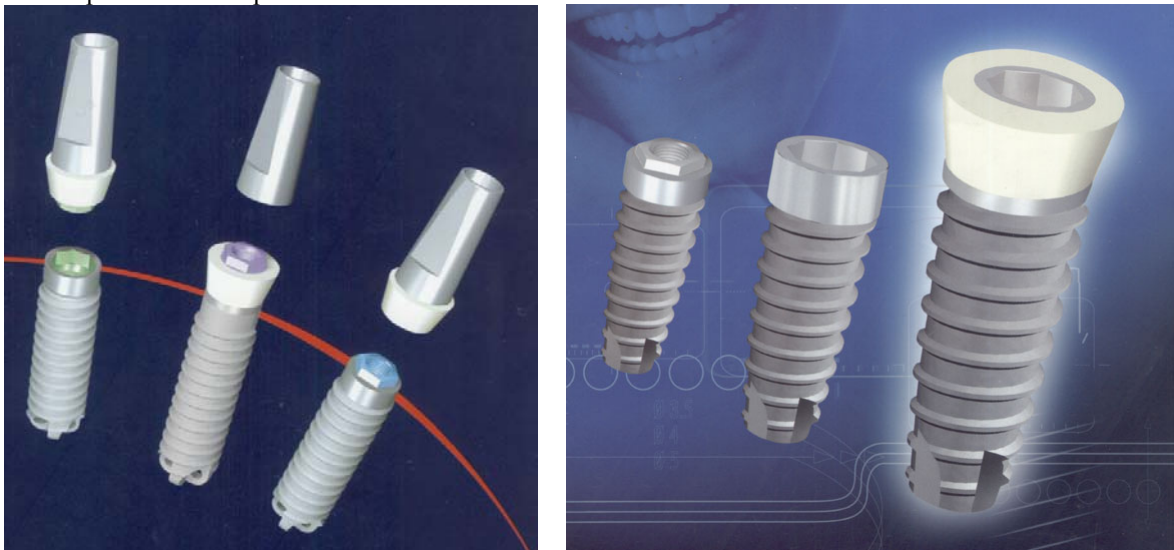


Рис. 2. Имплантаты системы "ЛИКО"




Стираемостью искусственной коронки мы пренебрегли, поскольку прочность ее керамического покрытия значительно выше прочностных характеристик твердых тканей естественных зубов.

Из возможных модификаций геометрических размеров имплантатов (табл. 1) для исследований выбраны шесть: № 1.101, 1.102, 1.201, 1.202, 1.301, 1.302. Таким образом, в экспериментах варьировался диаметр имплантата (три типоразмера) при двух значениях длины каждого из них.

Расчеты показали, что наличие естественной истираемости зубного ряда приводит не только к увеличению нормальных напряжений, которые, в основном, "отвечают" за прочность конструкции (что и следовало предположить), но и к увеличению касательных напряжений во всех трех координатных плоскостях. Наибольший интерес представляют касательные напряжения τ_{xy} (табл. 2), т.к. именно они создают крутящий момент, который, в конечном счете, приводит к раскручиванию фиксирующего винта, удерживающего протез. Для максимальных касательных напряжений $\tau_{xy}^{max} = 36,9\text{МПа}$, определенных при наличии естественной истираемости зубного ряда и приведенных в табл. 2, соответствующий крутящий момент (диаметр фиксирующего винта $d_0 = 2,0\text{мм}$) составил $M_{кр} = 5,79\text{Н} \cdot \text{см}$, что составляет около 20 % от исходного закручивающего момента и неизбежно приводит к самораскручиванию фиксирующего винта.

Таблица 1

Геометрические параметры имплантатов

№	Длина, мм	Диаметр, мм	Модификации
1.101	8	3,5	
1.102	10		
1.103	13		
1.104	16		
1.201	8	4,0	
1.202	10		
1.203	13		
1.204	16		
1.301	8	5,0	
1.302	10		
1.303	13		

При отсутствии истираемости эти напряжения составили только $\tau_{xy}^{max} = 14,76\text{МПа}$, что приводит к

возникновению крутящего момента $M_{кр} = 1,16Н \cdot см$, или 3,87 % от его исходной величины.

Следует отметить, что явление самораскручивания резьбовых соединений хорошо известно в технике. В машиностроении применяются различные методы стопорения против самораскручивания резьбовых соединений: а) контргайки, б) внесение в резьбу краски или герметика (неразъемное соединение), в) шплинты, г) специальные стопорные шайбы, д) стопорящее углубление под гайку, е) кернение и т.п.

Таблица 2

Нормальные и касательные напряжения (МПа) в модели с имплантатом

Тип смыкания	Угол, град.	Истираемость 0,5 мм				Нулевая истираемость			
		σ	τ_{xy}	τ_{xz}	τ_{yz}	σ	τ_{xy}	τ_{xz}	τ_{yz}
Прямое	125	102,88	12,9	2,9	38,6	41,2	5,16	1,1	15,39
	135	206,6	7,5	10,5	37,0	82,6	3,1	3,68	15,1
	145	320,0	36,9	76,7	68,0	121,6	14,76	25,72	27,19
Нормогнатия	125	160,3	20,1	4,5	59,8	64,0	8,05	1,64	25,41
	135	154,0	5,6	7,9	26,8	61,3	2,2	2,77	10,72
	145	140,2	15,8	32,9	28,9	57,4	6,14	11,5	11,41
Глубокое перекрытие	125	122,38	15,3	3,45	41,92	49,9	6,10	1,21	16,77
	135	119,45	4,34	6,1	21,4	48,1	1,97	2,14	8,42
	145	117,12	13,5	28,1	24,9	47,7	5,94	9,8	8,97

Решение вопроса защиты от раскручиваний предложено компанией Nord-Lock. Идея заключается в использовании напряжения и действия клина, который позволяет добиться лучших результатов по сравнению с обычными соединениями, которые используют исключительно силы трения. Этот метод использует напряжения, образующиеся в докручиваемом болте. Предохранением от раскручивания при данном методе служит система из двух шайб, каждая из шайб имеет на прилегающих поверхностях нарезки, в форме клина, с углом наклона большим, чем угол наклона резьбы соединяющего болта.

Вывод

Представленные результаты исследований являются основой для разработки новых методов защиты от раскручивания, которые могут быть использованы при протезировании.

Литература

1. Дашенко А. Ф. ANSYS в задачах инженерной механики / А. Ф. Дашенко, Д. В. Лазарева, Н. Г. Сурьянинов ; под ред. Н. Г. Сурьянинова. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – Одесса : Пальмира, 2011. – 505 с.
2. Лабунец В. А. Анализ осложнений, возникающих при протезировании несъемными конструкциями зубных протезов, фиксированных на двухэтапных остеоинтегрированных винтовых имплантатах, их устранение и профилактика / В. А. Лабунец, О. Н. Сенников, Е. И. Семенов // Вісник стоматології. – 2009. – № 3. – С. 82–84.
3. Семенов Е. И. Моделирование фронтального участка верхней челюсти с зубами и искусственным включением (внутрикостный цилиндрический имплантат) в программе ANSYS / Е. И. Семенов, Н. Г. Сурьянинов // Вісник стоматології. – 2011. – № 1. – С. 74–79.

Надійшла 23.9.2012 р.
Рецензент: д.т.н. Параска Г.Б.